

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-075815

(43)Date of publication of application : 15.03.2002

(51)Int.Cl.

H01L 21/027
G01B 11/00
G01B 11/02
G03F 7/20
G03F 7/207
H01L 21/66

(21)Application number : 2000-252896

(71)Applicant : SONY CORP

(22)Date of filing : 23.08.2000

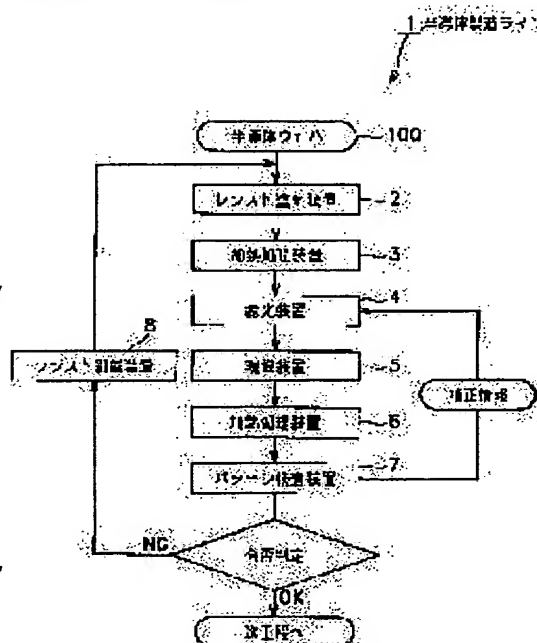
(72)Inventor : MORITA MASAYUKI
TAMADA HITOSHI
IMAI YUTAKA

(54) PATTERN TESTER AND ALIGNER CONTROL SYSTEM USING THE SAME

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To conduct testing of a resist pattern formed by an aligner to correct parameters of the aligner on a real-time basis, and to unequivocally discriminate a variance of parameters of the aligner on the basis of the test result to control the parameters of the aligner in high accuracy.

SOLUTION: A pattern tester 7 is incorporated in a semiconductor production line 1 for performing a lithography step. The line widths of an isolated pattern and an L/S pattern which are exposed by an aligner 4 and are formed on a semiconductor wafer 100, are measured by the pattern tester 7, and, on the basis of the test result, a correction information such as a light quantity correction information for correcting the quantity of exposing light in the aligner 4 or a focus correction information for correcting the alignment focusing position, etc., is generated thereby. Then, the alignment condition of the aligner 4 is corrected according to the correction information generated by the pattern tester 7.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-75815

(P2002-75815A)

(43) 公開日 平成14年3月15日 (2002.3.15)

(51) IntCl. ⁷	識別記号	F I	テマコード (参考)
H 0 1 L 21/027		G 0 1 B 11/00	C 2 F 0 6 5
G 0 1 B 11/00		11/02	H 4 M 1 0 6
11/02		G 0 3 F 7/20	5 2 1 5 F 0 4 6
G 0 3 F 7/20	5 2 1	7/207	H
7/207		H 0 1 L 21/66	J

審査請求 未請求 請求項の数10 O L (全 16 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2000-252896 (P2000-252896)

(22) 出願日 平成12年8月23日 (2000.8.23)

(71) 出願人 000002185

ソニー株式会社

東京都品川区北品川6丁目7番35号

(72) 発明者 森田 昌幸

東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内

(72) 発明者 玉田 仁志

東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内

(74) 代理人 100067736

弁理士 小池 晃 (外2名)

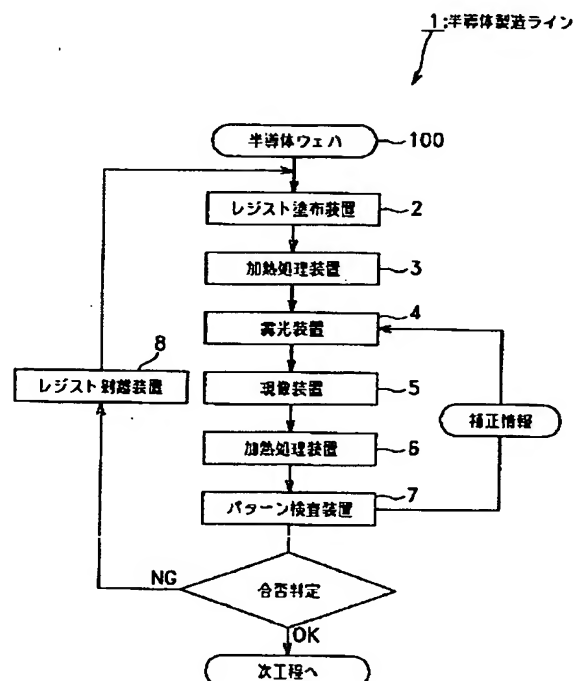
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 パターン検査装置及びこれを用いた露光装置制御システム

(57) 【要約】

【課題】 露光装置を用いて形成されたレジストパターンの検査を高速に行い、露光装置のパラメータの補正をリアルタイムで行うことを可能にすると共に、検査結果をもとに露光装置のパラメータ変動を一義的に判別し、露光装置のパラメータ管理を高精度に行うことを可能にする。

【解決手段】 リソグラフィ工程を行う半導体製造ライン1にパターン検査装置7を組み込む。パターン検査装置7は、露光装置4による露光工程を経て半導体ウェハ100上に形成された孤立パターンの線幅とL/Sパターンの線幅との双方を測定し、この測定結果をもとにして、露光装置4の露光光量を補正するための光量補正情報や露光フォーカス位置を補正するためのフォーカス補正情報等の補正情報を生成する。そして、パターン検査装置7により生成されたこれらの補正情報に応じて、露光装置4の露光状態を補正する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 作製する半導体回路パターンに対応して半導体ウェハ上に形成されたレジストパターンの状態を光学的に検査するパターン検査装置であって、少なくとも、孤立した凸パターンである孤立パターンの線幅と、所定の周期で凸パターンと凹パターンとが繰り返される繰り返しパターンの線幅との双方を測定する測定手段と、

上記測定手段により測定された孤立パターンの線幅と繰り返しパターンの線幅とをもとに、上記レジストパターンを形成する際に用いられる露光装置の露光状態を補正するための補正情報を生成する補正情報生成手段とを備え、

上記補正情報生成手段は、上記孤立パターンの線幅誤差と上記繰り返しパターンの線幅誤差とから得られる上記露光装置の露光条件誤差情報を、露光光量の誤差成分と露光フォーカス位置の誤差成分とに成分分離して、露光光量を補正するための光量補正情報と、露光フォーカス位置を補正するためのフォーカス補正情報とを生成することを特徴とするパターン検査装置。

【請求項2】 上記測定手段は、上記孤立パターンの線幅と繰り返しパターンの線幅との少なくとも一方を測定する際に、サジタル面像及びメリジオナル面像の双方にて測定を行い、

上記補正情報生成手段は、上記測定手段により測定されたサジタル面像及びメリジオナル面像における測定結果をもとに、上記露光装置の備える投影レンズの収差状態を補正するための収差補正情報を生成することを特徴とする請求項1記載のパターン検査装置。

【請求項3】 上記測定手段は、上記孤立パターンの線幅と繰り返しパターンの線幅との少なくとも一方を測定する際に、上記半導体ウェハ上の複数の位置にて測定を行い、

上記補正情報生成手段は、上記測定手段により測定された上記複数の位置における測定結果をもとに、上記露光装置の像面湾曲及び像面傾斜を補正するための像面補正情報を生成することを特徴とする請求項1記載のパターン検査装置。

【請求項4】 上記測定手段は、上記孤立パターンの線幅と繰り返しパターンの線幅とを光学的に測定するための光源として、波長が150～370nmの紫外線レーザー光を射出する紫外線レーザー光源を備えることを特徴とする請求項1記載のパターン検査装置。

【請求項5】 上記測定手段は、上記紫外線レーザー光源から射出された紫外線レーザー光の光量を、上記孤立パターン及び繰り返しパターンに収縮を生じさせない光量に制御する光量制御手段を備えることを特徴とする請求項4記載のパターン検査装置。

【請求項6】 上記測定手段は、上記繰り返しパターンの光学的変調度を測定し、これをもとに上記繰り返しパ

ターンの線幅を測定することを特徴とする請求項1記載のパターン検査装置。

【請求項7】 上記測定手段は、上記孤立パターンとその下地として形成されているアイソレーションパターンとの重ね合わせ誤差も測定することを特徴とする請求項1記載のパターン検査装置。

【請求項8】 作製する半導体回路パターンに対応して半導体ウェハ上にレジストパターンを形成する際に用いられる露光装置と、

上記露光装置を用いて半導体ウェハ上に形成されたレジストパターンの状態を光学的に検査するパターン検査装置とを備え、

上記パターン検査装置は、

少なくとも、孤立した凸パターンである孤立パターンの線幅と、所定の周期で凸パターンと凹パターンとが繰り返される繰り返しパターンの線幅との双方を測定する測定手段と、

上記測定手段により測定された孤立パターンの線幅と繰り返しパターンの線幅とをもとに、上記レジストパターンを形成する際に用いられる露光装置の露光状態を補正するための補正情報を生成する補正情報生成手段とを備え、

上記補正情報生成手段は、上記孤立パターンの線幅誤差と上記繰り返しパターンの線幅誤差とから得られる上記半導体露光装置の露光状態誤差情報を、露光光量の誤差成分と露光フォーカス位置の誤差成分とに成分分離して、露光光量を補正するための光量補正情報と、露光フォーカス位置を補正するためのフォーカス補正情報とを生成し、

上記露光装置は、上記パターン検査装置の補正情報生成手段により生成された光量補正情報に応じて露光光量が補正され、上記パターン検査装置の補正情報生成手段により生成されたフォーカス補正情報に応じて露光フォーカス位置が補正されることを特徴とする露光装置制御システム。

【請求項9】 上記パターン検査装置の測定手段は、上記孤立パターンの線幅と繰り返しパターンの線幅との少なくとも一方を測定する際に、サジタル面像及びメリジオナル面像の双方にて測定を行い、

上記パターン検査装置の補正情報生成手段は、上記測定手段により測定されたサジタル面像及びメリジオナル面像における測定結果をもとに、上記露光装置の備える投影レンズの収差状態を補正するための収差補正情報を生成し、

上記露光装置は、上記パターン検査装置の補正情報生成手段により生成された収差補正情報に応じて投影レンズの収差状態が補正されることを特徴とする請求項8記載の露光装置制御システム。

【請求項10】 上記パターン検査装置の測定手段は、上記孤立パターンの線幅と繰り返しパターンの線幅との

少なくとも一方を測定する際に、上記半導体ウェハ上の複数の位置にて測定を行い、

上記パターン検査装置の補正情報生成手段は、上記測定手段により測定された上記複数の位置における測定結果をもとに、上記露光装置の像面湾曲及び像面傾斜を補正するための像面補正情報を生成し、

上記露光装置は、上記パターン検査装置の補正情報生成手段により生成された像面補正情報に応じて像面湾曲及び像面傾斜が補正されることを特徴とする請求項 8 記載の露光装置制御システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、半導体ウェハ上に形成された微細パターンの状態を検査するパターン検査装置及び半導体製造プロセスのリソグラフィ工程において用いられる露光装置の制御を行う露光装置制御システムに関する。

【0002】

【従来の技術】近年の半導体回路パターンの微細化に伴い、リソグラフィ工程に要求される CD (Critical Dimension) 線幅管理値は、リソグラフィ工程において用いられる露光装置の管理限界を超えつつある。CD 線幅は、半導体集積回路の基本性能を決める上で極めて重要な要素の一つであり、半導体製造工程のうち、リソグラフィ工程においては、CD 線幅管理が、歩留まり向上に大きなウェイトを占めている。

【0003】リソグラフィ工程において、CD 線幅値は、露光装置の露光量、露光フォーカス位置、投影レンズの収差状態、像面湾曲、像面傾斜等の各パラメータにより決定されることが知られている。したがって、CD 線幅値を管理する上では、露光装置におけるこれらのパラメータを高精度に安定管理することが重要である。

【0004】一般に、露光装置における各パラメータを安定管理するには、当該露光装置を用いて形成されたレジストパターンの線幅を走査型電子顕微鏡 (SEM: Scanning Electron Microscope) 等を用いて測定し、測定結果を露光装置にフィードバックすることで、露光装置の各パラメータを最適な値に保つようにしている。すなわち、露光装置を用いて形成されたレジストパターンの線幅値が所望の線幅値からずれている場合に、その誤差量を補正情報として露光装置にフィードバックし、この補正情報に応じて露光装置の各パラメータを補正することで、レジストパターンの線幅値が一定となるように、露光装置を制御することが可能である。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、SEM 等の処理速度は、リソグラフィ工程において一般に用いられる露光装置の処理速度に比べて著しく遅い。このため、SEM 等による測定結果を露光装置へフィードバックして露光装置の各パラメータの補正を行う場合、時定

数が極めて遅く、リアルタイム性が損なわれるといった問題がある。

【0006】ところで、近年、照明光に単一波長を持つレーザ光を用いたレーザ顕微鏡の開発が盛んに進められており、露光装置を用いて形成されたレジストパターンの線幅を測定する装置として、このようなレーザ顕微鏡を用いた検査装置を使用する試みがなされている。この検査装置は、レーザ顕微鏡の照明光源として短波長の深紫外レーザを用いることで、近年益々微細化されつつあるレジストパターンの線幅を高精度に測定するのに十分な光学分解能が得られるようになってきている。

【0007】このようなレーザ顕微鏡を用いた検査装置は、これまで用いられてきた SEM 等に比べて処理速度が著しく速く、レジストパターンの形成に用いられる露光装置と同程度の高速処理が可能である。したがって、このような検査装置を用いることで、露光装置によるレジストパターンの形成と同一処理速度で、形成されたレジストパターンの線幅測定を行うことができ、露光装置の各パラメータをリアルタイムに補正することが可能となる。

【0008】このようなレーザ顕微鏡を用いた検査装置をレジストパターンの線幅を測定するための装置として有効に使用するためには、この検査装置の測定結果をもとにして、露光装置の各パラメータの補正量が一義的に求められることが望ましい。すなわち、この検査装置によって測定されたレジストパターンの線幅が所望の線幅からずれているときに、その誤差が、露光装置のどのパラメータの変動に起因するものであるかが判別できれば、その誤差量を補正情報として露光装置にフィードバックして、露光装置の該当するパラメータを適切に補正することができるので、露光装置における各パラメータを高精度に安定管理することが可能となる。

【0009】本発明は、以上のような実情に鑑みて創案されたものであって、露光装置を用いて形成されたレジストパターンの検査を高速に行い、露光装置のパラメータの補正をリアルタイムで行うことを可能にすると共に、検査結果をもとに露光装置のパラメータ変動を一義的に判別し、露光装置のパラメータ管理を高精度に行うことを可能にするパターン検査装置、及びこのパターン検査装置を用いて露光装置の制御を行う露光装置制御システムを提供することを目的としている。

【0010】

【課題を解決するための手段】本発明に係るパターン検査装置は、作製する半導体回路パターンに対応して半導体ウェハ上に形成されたレジストパターンの状態を光学的に検査するパターン検査装置であって、少なくとも、孤立した凸パターンである孤立パターンの線幅と、所定の周期で凸パターンと凹パターンとが繰り返される繰り返しパターンの線幅との双方を測定する測定手段と、上記測定手段により測定された孤立パターンの線幅と繰り返し

返しパターンの線幅とをもとに、上記レジストパターンを形成する際に用いられる露光装置の露光状態を補正するための補正情報を生成する補正情報生成手段とを備えている。そして、このパターン検査装置では、上記補正情報生成手段が、上記孤立パターンの線幅誤差と上記繰り返しパターンの線幅誤差とから得られる上記露光装置の露光条件誤差情報を、露光光量の誤差成分と露光フォーカス位置の誤差成分とに成分分離して、露光光量を補正するための光量補正情報と、露光フォーカス位置を補正するためのフォーカス補正情報とを生成するようにしている。

【0011】本発明に係るパターン検査装置においては、測定手段によって、少なくとも、1孤立した凸パターンである孤立パターンの線幅と、所定の周期で凸パターンと凹パターンとが繰り返される繰り返しパターンの線幅との双方が測定される。そして、補正情報生成手段により、測定手段によって測定された孤立パターンの線幅と繰り返しパターンの線幅とをもとに、レジストパターンを形成する際に用いられる露光装置の露光状態を補正するための補正情報が生成される。

【0012】このとき、孤立パターンの線幅誤差、すなわち、測定手段によって測定された孤立パターンの線幅の所定の線幅に対するずれと、繰り返しパターンの線幅誤差、すなわち、測定手段によって測定された繰り返しパターンの線幅の所定の線幅に対するずれは、露光装置の露光条件誤差情報として認識される。そして、補正情報生成手段は、この露光条件誤差情報を、露光光量の誤差成分と露光フォーカス位置の誤差成分とに成分分離して、露光光量を補正するための光量補正情報と、露光フォーカス位置を補正するためのフォーカス補正情報とを生成する。

【0013】これら光量補正情報とフォーカス補正情報は、露光装置に供給されることになる。そして、露光装置では、パターン検査装置から供給された光量補正情報に応じて露光光量が補正され、フォーカス補正情報に応じて露光フォーカス位置が補正されることになる。

【0014】また、本発明に係る露光装置制御システムは、作製する半導体回路パターンに対応して半導体ウェハ上にレジストパターンを形成する際に用いられる露光装置と、上記露光装置を用いて半導体ウェハ上に形成されたレジストパターンの状態を光学的に検査するパターン検査装置とを備えている。そして、この露光装置制御システムでは、上記パターン検査装置が、少なくとも、孤立した凸パターンである孤立パターンの線幅と、所定の周期で凸パターンと凹パターンとが繰り返される繰り返しパターンの線幅との双方を測定する測定手段と、上記測定手段により測定された孤立パターンの線幅と繰り返しパターンの線幅とをもとに、上記レジストパターンを形成する際に用いられる露光装置の露光状態を補正するための補正情報を生成する補正情報生成手段とを備

え、上記補正情報生成手段が、上記孤立パターンの線幅誤差と上記繰り返しパターンの線幅誤差とから得られる上記露光装置の露光状態誤差情報を、露光光量の誤差成分と露光フォーカス位置の誤差成分とに成分分離して、露光光量を補正するための光量補正情報と、露光フォーカス位置を補正するためのフォーカス補正情報とを生成する。そして、露光装置は、上記パターン検査装置の補正情報生成手段により生成された光量補正情報に応じて露光光量が補正され、上記パターン検査装置の補正情報生成手段により生成されたフォーカス補正情報に応じて露光フォーカス位置が補正される。

【0015】この露光装置制御システムによれば、パターン検査装置において、孤立パターンの線幅誤差と繰り返しパターンの線幅誤差とから得られる露光装置の露光状態誤差情報が、露光光量の誤差成分と露光フォーカス位置の誤差成分とに成分分離されて、露光光量を補正するための光量補正情報と、露光フォーカス位置を補正するためのフォーカス補正情報とが生成され、露光装置の露光光量がこの光量補正情報に応じて補正され、露光装置の露光フォーカス位置がこのフォーカス補正情報に応じて補正されるので、露光装置の露光状態を適切に制御することが可能となる。

【0016】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態を図面を参照して詳細に説明する。

【0017】本発明に係る露光装置制御システムを適用して構成される半導体製造ラインの一構成例を図1に示す。この図1に示す半導体製造ライン1は、半導体製造プロセス中のリソグラフ工程を行う一連の製造ラインであって、レジスト塗布装置2と、加熱処理装置3と、露光装置4と、現像装置5と、加熱処理装置6と、パターン検査装置7と、レジスト剥離装置8とがインラインに組み込まれてなるものである。

【0018】この半導体製造ライン1において、半導体ウェハ100は、先ずレジスト塗布装置2に供給される。レジスト塗布装置2は、供給された半導体ウェハ100上にレジスト材料を塗布する。これにより、半導体ウェハ100上にレジスト層が形成されることになる。

【0019】レジスト塗布装置2によりレジスト材料が塗布され、レジスト層が形成された半導体ウェハ100は、次に、加熱処理装置3に供給される。加熱処理装置3は、供給された半導体ウェハ100上のレジスト層に対してプリベーク処理を行う。これにより、レジスト層の残留溶剤が揮発され、レジスト層の半導体ウェハ100に対する密着性が高められる。

【0020】加熱処理装置3によりプリベーク処理が行われた半導体ウェハ100は、次に、露光装置4に供給される。露光装置4は、作製する半導体回路パターンに対応したパターンレチクルを用いて、半導体ウェハ100上に形成されたレジスト層を露光する。これにより、

半導体ウェハ100上のレジスト層に、半導体回路パターンに対応したパターン潜像が形成されることになる。

【0021】露光装置4によりレジスト層が露光された半導体ウェハ100は、次に、現像装置5に供給される。現像装置5は、露光装置4により露光されたレジスト層に対して現像処理を行う。そして、現像装置5により現像処理されたレジスト層の余分なレジストが除去されることにより、半導体ウェハ上に、作製する半導体回路パターンに対応したレジストパターンが形成されることになる。

【0022】現像装置5により現像処理されてレジストパターンが形成された半導体ウェハ100は、次に、加熱処理装置6に供給される。加熱処理装置6は、供給された半導体ウェハ上のレジストパターンに対してポストベーク処理を行う。これにより、レジストパターンの耐エッチング性の向上や耐熱性の向上等が図られることになる。

【0023】加熱処理装置6によりポストベーク処理が行われた半導体ウェハ100は、次に、パターン検査装置7に供給される。パターン検査装置7は、レーザ顕微鏡を用いた検査装置であって、供給された半導体ウェハ100上のレジストパターンの状態を光学的に検査するものである。具体的には、パターン検査装置7は、例えば、孤立した凸パターンである孤立パターンの線幅測定や、凸パターンと凹パターンとが所定の周期で繰り返される繰り返しパターン（以下、L/Sパターン：Line and Space Pattern という。）の線幅測定、孤立パターンとその下地として形成されているアイソレーションパターンとの重ね合わせ精度の測定、コンタクトホール直径の測定、コンタクトホール深さの測定等を行う。また、パターン検査装置7は、露光装置4におけるディストーション検査や、倍率検査、像面湾曲検査、像面傾斜検査等も行う。

【0024】そして、半導体製造ライン1においては、パターン検査装置7の検査結果をもとに、半導体ウェハ100上に形成されたレジストパターンの合否判定が行われ、レジストパターンの状態が適切であると判断された半導体ウェハ100のみが、良品ウェハとして次工程へ送られ、レジストパターンの状態が適切でないと判断された半導体ウェハ100は、不良品ウェハとしてレジスト剥離装置8に供給される。

【0025】レジスト剥離装置8は、不良品ウェハと判断された半導体ウェハ100上のレジストパターンを剥離して、洗浄する。これにより、半導体ウェハ100は、レジスト材料が塗布される前の状態とされる。そして、レジストパターンが剥離された半導体ウェハ100は、再度レジスト塗布装置2に供給され、レジストパターンの再生処理が行われる。

【0026】この半導体製造ライン1においては、半導体ウェハ100上にレジストパターンを形成するための

各装置と、このレジストパターンを検査するためのパターン検査装置7とがインラインに組み込まれており、レジストパターンが形成された全ての半導体ウェハ100を検査する全数検査が行われるようになされているので、不良品ウェハが次工程へと送られる頻度を著しく低減させることができると共に、良品ウェハがレジストパターン再生処理へと送られる頻度を著しく低減させることができる。

【0027】すなわち、これまでのリソグラフ工程におけるレジストパターンの検査では、検査装置にSEM等が用いられるのが一般的であり、レジストパターン形成処理速度に比べてレジストパターン検査速度が著しく遅いことから、全数検査が行われずに、複数の半導体ウェハの中から任意の半導体ウェハを抽出して検査を行い、統計的な手法によりレジストパターンの状態が判断されていた。このため、不良と判断されたロットが、ロットごとレジストパターン再生処理へと送られ、良品ウェハに対してもレジストパターン再生処理が行われる場合があった。また、不良品ウェハを含むロットが良品と判断されて次工程へと送られてしまう場合があった。

【0028】これに対して、半導体製造ライン1においては、パターン検査装置7として比較的処理速度が速いレーザ顕微鏡を用いたパターン検査装置が使用され、このパターン検査装置7が、半導体ウェハ100上にレジストパターンを形成するための各装置とインラインに組み込まれており、レジストパターンが形成された半導体ウェハ100に対する全数検査が行われるようになされているので、上述したような不都合を生じさせずに、極めて効率的且つ適切に良品ウェハのみを次工程へと供給することができる。

【0029】また、この半導体製造ライン1においては、パターン検査装置7が、供給された各半導体ウェハ100毎にレジストパターンの状態を検査し、その検査結果をもとに露光装置4の露光状態を補正するための補正情報を生成して露光装置4にフィードバックするようにしている。そして、露光装置4の露光状態がこの補正情報に応じて補正されることによって、露光装置4の制御が行われるようになされている。

【0030】ここで、半導体ウェハ100上に形成されたレジストパターンの状態を検査するパターン検査装置7の一例について具体的に説明する。

【0031】パターン検査装置7は、レーザ顕微鏡を用いて半導体ウェハ100上に形成されたレジストパターンの画像を撮像し、撮像したレジストパターンの画像をもとにレジストパターンの状態を検査するものであり、例えば、図2に示すように、半導体ウェハ100を任意の位置に移動可能に支持する可動ステージ11を備えている。

【0032】この可動ステージ11は、例えば、当該可動ステージ11上に設置された半導体ウェハ100を水

平方向に移動させるためのX、Yステージと、半導体ウェハ100を垂直方向に移動させるためのZステージと、半導体ウェハ100を回転させるための θ ステージと、半導体ウェハ100を吸着して固定するための吸着プレートとを備える。この可動ステージ2では、上記各ステージが制御部12の制御のもとで動作されるようになされており、上記各ステージが駆動されることで、吸着プレートにより吸着された半導体ウェハ100上の任意の検査箇所を検査装置7の所定の検査位置へと移動させると共に、半導体ウェハ100の高さ方向の調整を適切に行って、フォーカス状態を最適な状態に調整できるようになされている。

【0033】また、この検査装置7は、所定の検査箇所位置決めされた半導体ウェハ100上の任意の検査箇所を照明するための照明光を出射する照明光源13を備えている。

【0034】この照明光源13としては、波長が150～370nmの紫外線レーザー光を出射する紫外線レーザー光源を用いることが望ましい。具体的には、例えば、YAG第4高調波を用いた波長266nmの全固体レーザー、上記YAG第4高調波と波長710～740nm程度の近赤外線レーザーをチタンサファイア結晶にて和周波を取り出した、波長193～196nm程度の全固体レーザー、KrFエキシマレーザー、ArFエキシマレーザー、F2エキシマレーザー等が照明光源13として好適である。

【0035】このように短波長の紫外線レーザー光を出射する紫外線レーザー光源を照明光源13として用いることで、パターン検査装置7は、半導体ウェハ100上に形成されたレジストパターンの状態を高分解能で検査することが可能となる。

【0036】また、この検査装置7は、照明光源13から出射された紫外線レーザー光を半導体ウェハ100上の検査対象となるレジストパターンに照射させてこのレジストパターンを照明するための照明光学系と、紫外線レーザー光により照明されたレジストパターンからの反射光、散乱光、回折光等を画像撮像素子14に導き、レジストパターンの画像を画像撮像素子14上に結像させる結像光学系とを備えている。

【0037】ここで、これら照明光学系及び結像光学系を構成する各光学素子について説明する。照明光源13から出射された紫外線レーザー光は、先ず、可変式NDフィルタ（減光フィルタ）15を透過して、コンデンサレンズ16に入射する。ここで、可変式NDフィルタ15は、照明光源13から出射された紫外線レーザー光を分光組成を変えないで減光するものである。

【0038】コンデンサレンズ16に入射した紫外線レーザー光は、このコンデンサレンズ16により集光され、シャッタ17の内部に結像する。シャッタ17は、例えば、音響光学変調器（AOM: Acoustic Optics Modula-

tor）等よりなり、制御部12の制御のもとで、紫外線レーザー光の透過又は遮断の切り替えを行う。音響光学変調器は、音響光学効果を利用した光変調器であり、回折光を回折効率の範囲内で自由に変調することが可能となっている。この音響光学変調器からの0次回折光を遮断し、1次回折光のみを空間フィルタを用いて取り出すようにすれば、極めて応答性の良いシャッタを構成できる。このシャッタ17により紫外線レーザー光の透過又は遮断を切り替えることで、シャッタ17を透過する紫外線レーザー光の光量が調整され、半導体ウェハ100上の検査箇所に照射される紫外線レーザー光の照射光量が調節されることになる。

【0039】このパターン検査装置7を用いて、半導体ウェハ100上に形成されたレジストパターンの状態を検査する場合、レジストパターンには、その露光波長に近い紫外線レーザー光が照射されることになるので、レジストパターンに収縮を生じさせないためには、紫外線レーザー光の照射光量を制御することが重要である。そこで、パターン検査装置7においては、紫外線レーザー光の光路中にシャッタ17を設け、このシャッタ17が、制御部12の制御に応じて紫外線レーザー光の透過又は遮断を切り替えることで、紫外線レーザー光の照射光量を調整するようにしている。

【0040】なお、シャッタ17としては、照明光源13から出射された紫外線レーザー光の透過又は遮断を切り替えられるものであれば、どのようなものを用いてもよい。例えば、液晶材料を用いた液晶パネル等の空間光変調器や、回折格子を用いた光回折式のシャッタ、光弾性効果を利用した導波路式のシャッタ等を用いるようにしてもよい。

【0041】シャッタ17を透過した紫外線レーザー光は、光ファイバ18を介して回転拡散板19の拡散面に照射される。ここで、光ファイバ18は、照明光源13より出射された紫外線レーザー光を後段の各光学素子にフレキシブルに導くと共に、照明光源13から直線偏光の状態で出射される紫外線レーザー光の偏光方向をランダムにして、シングルモードにて入射された紫外線レーザー光をマルチモードに変換するためのものである。また、回転拡散板19は、可干渉性の良い紫外線レーザー光を照明光として用いた場合に問題とされるスペckルノイズを低減させるためのものである。いずれも、照明光学系の可干渉性を落とし、均一な照明を得るための可干渉性低減手段として機能するものである。

【0042】回転拡散板19に照射された紫外線レーザー光は、この回転拡散板19を光源とするケーラー照明系を構成するコンデンサレンズ20、開口絞り21、視野絞り22、コンデンサレンズ23を順次透過して、偏光ビームスプリッタ24に入射する。

【0043】偏光ビームスプリッタ24に入射した紫外線レーザー光は、この偏光ビームスプリッタ24により互

いに直交する2方向の直線偏光成分に分離され、その一方が、偏光ビームスプリッタ24により反射され、他方が偏光ビームスプリッタ24を透過する。

【0044】偏光ビームスプリッタ24により反射された一方の直線偏光成分の光は、 $1/4$ 波長板25を透過することにより円偏光に変換され、対物レンズ26を介して、半導体ウェハ100上のレジストパターンに照射される。これにより、半導体ウェハ100上のレジストパターンが紫外線レーザ光により照明されることになる。このパターン検査装置7においては、上述した可変式NDフィルタ15から対物レンズ26までの各光学素子により、照明光学系が構成されている。

【0045】また、偏光ビームスプリッタ24を透過した他方の直線偏光成分の光は、結像レンズ27を介して光量モニタ28に入射し、この光量モニタ28により受光される。ここで、偏光ビームスプリッタ24を透過して光量モニタ28により受光される他方の直線偏光成分の光は、照明光源13の偏光依存性が一定である条件において、偏光ビームスプリッタ24により反射されて半導体ウェハ100上のレジストパターンに照射される一方の直線偏光成分の光と比例関係が成り立つ。したがって、これらの光の間の相関関係を予め求めておけば、光量モニタ28により受光される他方の直線偏光成分の光の光量から、半導体ウェハ100上のレジストパターンに照射される紫外線レーザ光の照射光量を求めることができる。

【0046】紫外線レーザ光の照射光量をモニタリングする光量モニタ28としては、例えば、深紫外レーザ光に対して高い感度を得られるように構成された紫外光用のCCD (charge-coupled device) カメラが用いられる。この光量モニタ28は、積算回路29に接続されており、受光した光を電気信号に変換して、積算回路29に供給するようになされている。積算回路29は、光量モニタ28から供給された電気信号から、紫外線レーザ光の積算照射光量を算出して、制御部12に供給する。

【0047】なお、光量モニタ28としては、受光した光を電気信号に変換できるものであれば、どのようなものを用いてもよい。例えば、フォトランジスタやカロリメータ等を光量モニタ28として用いるようにしてもよい。

【0048】このパターン検査装置7では、制御部12が、積算回路29により算出された紫外線レーザ光の積算照射光量に応じてシャッタ17を制御して、半導体ウェハ100上のレジストパターンに照射される紫外線レーザ光の照射光量を調整するようにしている。具体的には、積算回路29により算出された紫外線レーザ光の積算照射光量がレジストパターンに収縮を生じさせる照射閾値に近づくと、制御部12は、シャッタ17を閉じて紫外線レーザ光を遮断させ、紫外線レーザ光がレジストパターンに照射されないようにする。また、制御部12

は、可変式NDフィルタ15を制御することでも、レジストパターンに照射される紫外線レーザ光の照射光量を調整することができる。

【0049】また、このパターン検査装置7では、制御部12が、紫外光用CCDカメラ等よりなる画像撮像素子14のシャッタと同期させて、照明光学系中のシャッタ17の開閉動作を制御することも可能である。このように、画像撮像素子14のシャッタと同期させて照明光学系中のシャッタ17の開閉動作を制御するようにすれば、半導体ウェハ100上のレジストパターンに効率よく紫外線レーザ光を照射させることができる。

【0050】半導体ウェハ100上のレジストパターンに照射され紫外線レーザ光は、このレジストパターンの状態に応じて反射、散乱、回折することになる。このレジストパターンからの反射光、散乱光、回折光は、対物レンズ26を透過して、 $1/4$ 波長板25に入射する。そして、 $1/4$ 波長板25により直線偏光の光に変換された後、偏光ビームスプリッタ24に再度入射する。ここで、偏光ビームスプリッタ24に再度入射した検査箇所からの反射光、散乱光、回折光は、先に偏光ビームスプリッタ24により反射された直線偏光成分の光とは直交する直線偏光成分の光であるので、偏光ビームスプリッタ24を透過することになる。

【0051】偏光ビームスプリッタ24を透過した検査箇所からの反射光、散乱光、回折光は、結像レンズ30を介して画像撮像素子14に入射する。これにより、対物レンズ26により拡大されたレジストパターンの画像が、画像撮像素子14により撮像されることになる。

【0052】このパターン検査装置7においては、対物レンズ26から結像レンズ30までの各光学素子により、結像光学系が構成されている。

【0053】ここで、対物レンズ26としては、例えば、開口数NAが0.9程度の高開口数のレンズが用いられている。このパターン検査装置7では、照明光として短波長の紫外線レーザ光を用いると共に、対物レンズ26として高開口数のレンズを用いることで、微細なパターンの検査を精度良く行えるようになされている。また、対物レンズ26は、照明光である紫外線レーザ光に対して収差が低減されるような対策が施されている。

【0054】また、画像撮像素子14としては、例えば、紫外線レーザ光に対して高い量子効率、具体的には、例えば約36%の量子効率を得られる高感度の紫外光用CCDカメラが用いられる。このように、画像撮像素子14として、紫外線レーザ光に対する感度が高いCCDカメラを用いれば、微細なパターンの画像を高解像度で撮像することが可能である。この画像撮像素子14は、画像処理用コンピュータ31に接続されている。そして、このパターン検査装置7においては、画像撮像素子31により撮像された半導体ウェハ100上のレジストパターンの画像が、画像処理用コンピュータ31に取

り込まれるようになされている。

【0055】なお、この画像撮像素子14は、冷却機構を備えたものであることが望ましい。例えば、紫外光用CCDカメラを画像撮像素子14として用いる場合には、CCDチップがペルチェ素子により5℃程度まで冷却される構成となっていることが望ましい。以上のように画像撮像素子14を冷却するようにすれば、この画像撮像素子14により撮像された半導体ウェハ100上のレジストパターンの画像を画像処理用コンピュータ31に転送する際に発生する読み出し雑音や熱雑音を大幅に低減することが可能となる。

【0056】また、パターン検査装置7は、対物レンズ26と被検査物である半導体ウェハ100との間の距離、すなわち、結像光学系のフォーカス状態を調整するフォーカス制御手段を備えている。

【0057】通常の光学顕微鏡を用いた検査装置では、照明光を被検査物に照射させてその反射光を検出することで対物レンズと被検査物との間の距離を測定し、フォーカス状態の調整を行うようにしているが、照明光を被検査物に照射させながらフォーカス状態の調整を行うと、このときの照明光も被検査物に対する照射光量として積算されてしまうことになる。このように、フォーカス状態の調整で照明光の照射光量が積算されてしまうと、実際の検査を行う際の照明光量が制限されることになり、非常に効率が悪い。

【0058】そこで、このパターン検査装置7では、静電容量型センサ32を対物レンズ26の近傍に配設して、この静電容量型センサ32により対物レンズ26と被検査物である半導体ウェハ100との間の距離を検出し、これに基づいて、対物レンズ26と半導体ウェハ100との間の距離が最適となるように、制御部12が可動ステージ11のZステージを駆動することで、結像光学系のフォーカス状態を調整するようにしている。すなわち、このパターン検査装置7では、静電容量型センサ32と、制御部12と、可動ステージ11のZステージとが、結像光学系のフォーカス状態を調整するフォーカス制御手段として機能する。

【0059】このパターン検査装置7においては、上述したように、結像光学系によって画像撮像素子14に結像され、この画像撮像素子14により撮像された半導体ウェハ100上のレジストパターンの画像が画像処理用コンピュータ31に供給される。そして、このレジストパターンの画像を画像処理用コンピュータ31により画像処理し、解析することによって、レジストパターンの状態の検査が行われることになる。

【0060】具体的には、パターン検査装置7は、例えば、半導体ウェハ100上に孤立した凸部として形成された孤立パターンの画像を撮像し、撮像した孤立パターンの画像から光の強度プロファイルを作成する。そして、この孤立パターンの画像から作成された光の強度プ

ロファイルをもとにして、孤立パターンの線幅測定を行う。また、パターン検査装置7は、半導体ウェハ100上に凸パターンと凹パターンとが所定の周期で繰り返される繰り返しパターンとして形成されたL/Sパターンの画像を撮像し、撮像したL/Sパターンの画像から光の強度プロファイルを作成する。そして、このL/Sパターンの画像から作成された光の強度プロファイルをもとにして、L/Sパターンの線幅測定を行う。更に、パターン検査装置7は、孤立パターンとその下地として形成されているアイソレーションパターンとの重ね合わせ精度の測定や、コンタクトホール直径の測定、コンタクトホール深さの測定等を行う。

【0061】これらの測定結果は、半導体製造ライン1において半導体ウェハ100上にレジストパターンが適切に形成されたか否かを判定する指針となるものである。すなわち、半導体製造ライン1においては、パターン検査装置7による以上の測定結果に基づいて、半導体ウェハ100上に形成されたレジストパターンの合否判定が行われ、レジストパターンの状態が適切であると判断された半導体ウェハ100のみが良品ウェハとして次工程へ送られ、レジストパターンの状態が適切でないと判断された半導体ウェハ100はレジストパターン再生処理へと送られるようになされている。

【0062】また、パターン検査装置7は、以上のような線幅測定等に加えて、例えば、露光装置4におけるディストーション検査や、倍率検査、像面湾曲検査、像面傾斜検査等も行う。これらの検査は、露光装置4の露光状態を補正するために必要とされるものであり、これらの検査結果は、孤立パターンの線幅測定結果やL/Sパターンの線幅測定結果と共に、露光装置4の露光状態を補正するための補正情報を生成する補正情報生成処理部33に供給される。

【0063】補正情報生成処理部33は、画像処理用コンピュータ31から供給された測定結果や検査結果をもとに、例えば、露光装置4の露光光量を補正するための光量補正情報や、露光装置4の露光フォーカス位置を補正するためのフォーカス補正情報、露光装置4が備える投影レンズの収差状態を補正するための収差補正情報、露光装置4の像面湾曲や像面傾斜を補正するための像面補正情報等の各種補正情報を生成する。そして、補正情報生成処理部33は、これら生成した各種補正情報を露光装置4に供給する。

【0064】特に、このパターン検査装置7においては、供給される半導体ウェハ100毎に、この半導体ウェハ100上に形成された孤立パターンの線幅とL/Sパターンの線幅との双方を測定し、この測定結果を補正情報生成処理部33に供給するようにしている。そして、パターン検査装置7は、補正情報生成処理部33において、測定された孤立パターンの線幅値と所定の値とのずれ量（孤立パターンの線幅誤差）と、測定されたL

L/Sパターンの線幅値と所定の値とのずれ量(L/Sパターンの線幅誤差)とから得られる露光装置4の露光条件誤差情報を、露光装置4の露光光量の誤差成分と、露光装置4の露光フォーカス位置の誤差成分とに成分分離して、露光装置4の露光光量を補正するための光量補正情報と、露光装置4の露光フォーカス位置を補正するためのフォーカス補正情報とを生成するようにしている。

【0065】半導体製造ライン1においては、以上のようにより、パターン検査装置7によって、供給された半導体ウェハ100に対する全数検査が行われ、その検査結果に基づいてパターン検査装置7の補正情報生成処理部33により生成された各種補正情報が露光装置4にフィードバックされるようになされている。そして、露光装置4の露光状態が、これら補正情報に応じてリアルタイムに補正されることによって、露光装置4の制御が行われるようになされている。特に、この半導体製造ライン1では、露光装置4による露光状態を決定する上で最も大きな変動要因となる露光光量と露光フォーカス位置とが、パターン検査装置7からの補正情報に応じてリアルタイムに補正されることになる。したがって、この半導体製造ライン1によりリソグラフィ工程を行うようにすれば、不良品ウェハの発生率を大幅に削減することが可能となる。

【0066】ここで、パターン検査装置7において、露光装置4の露光状態を補正するための各種補正情報を生成する処理の一例について、具体的に説明する。

【0067】露光装置4における露光光量と、半導体ウェハ100上に形成された孤立パターンやL/Sパターンの線幅との関係は、図3に示すように、露光装置4における露光光量が多いほど、半導体ウェハ100上に形成される孤立パターンやL/Sパターンの線幅値は小さくなり、球面収差があるとその傾向はより顕著になる。

【0068】また、露光装置4における露光フォーカス位置と、半導体ウェハ100上に形成された孤立パターンやL/Sパターンの線幅の関係は、図4(a)及び図4(b)に示すように、孤立パターンとL/Sパターンとで、露光装置4における露光フォーカス位置の変化によって得られる線幅値の振る舞いが異なる。すなわち、孤立パターンでは、図4(a)に示すように、露光装置4の露光フォーカス位置がデフォーカスするに従って、得られる線幅値は小さくなる。一方、L/Sパターンでは、図4(b)に示すように、露光装置4の露光フォーカス位置がデフォーカスするに従って、得られる線幅値は大きくなる。更に、孤立パターンとL/Sパターンとの双方において、デフォーカス方向による対称性は、特に球面収差に依存することが知られている。

【0069】上述したパターン検査装置7において、孤立パターンの線幅は、図5に示すように、孤立パターンの画像から作成される光の強度プロファイルをもとに、ディップ間隔Wとして観察される。

【0070】一方、L/Sパターンは、図6に示すように、光学の変調度をもった像として観察される。なお、図6において、光学変調度は $D/(C+D)$ で表される。そして、L/Sパターンにおける線幅は、図7

(a)に示すように、同一空間周波数におけるパターンデューティとして取り扱うことができ、光学の変調度は、図7(b)に示すように、パターンデューティの関数として取り扱うことができる。ここで、パターンデューティは、L(ライン)とS(スペース)とからなる1周期のパターン幅に対するL(ライン)幅の割合をいう。

【0071】上述したパターン検査装置7においては、照明光源13として、可干渉性の良いレーザ光を出射するレーザ光源を用いているので、観察されるL/Sパターンの光学の変調度が、例えばランプ等を照明光源に用いた検査装置により観察した場合に比べて著しく高い。

【0072】更に、上述したパターン検査装置7においては、観察されるL/Sパターンの光学の変調度を更に向上させるために、開口絞り12の位置に、例えば図8に示すような変形照明を行うための空間フィルタ絞りが設けられることが望ましい。このような空間フィルタ絞りを設けて、観察するL/Sパターンに応じて最適な変形照明を行うようにすれば、2次以上の高次回折光の発生が抑制されて、光学の変調度が向上することになる。なお、変形照明を行うための空間フィルタ絞りの形状は、以上の例に限定されるものではなく、測定対象となるL/Sパターンによって決定される2次以上の高次回折光の発生を抑制可能な形状であれば、どのような形状であっても構わない。また、4次以上の高次回折光は、結像にさほど寄与しないので、照明光量を確保する意味で、必要に応じてカットしなくても構わない。

【0073】L/Sパターンの線幅を測定する際に求められる光学の変調度は、図7(b)に示したように、所定のパターンデューティ値で極値をとるため、得られた光学の変調度のデータだけでは極値の前後の判断ができない。そこで、本発明を適用した半導体製造ライン1においては、図7(a)に示したように、同一測定パターン内にてパターンデューティを極値の判断に必要なステップ幅及びステップ数変動させた検査用パターンを半導体ウェハ100上に形成しておき、パターン検査装置7にてこの検査用パターンを複数計測し、計測したデータと、図7(b)に示した母曲線とをパターンマッチングすることで、L/Sパターンの線幅の測定を可能としている。

【0074】なお、半導体ウェハ100上に形成する検査用パターン形状は、空間周波数、すなわちL(ライン)とS(スペース)とからなる1周期のパターン幅を固定とし、線幅値、すなわちL(ライン)幅を変化させたものであれば、図7(a)に示した例に限らず、どのような形状であってもよい。更に、縦方向パターン、横

方向パターンを一つの検査用パターンに盛り込むようにしてもよい。

【0075】また、以上の例では、空間周波数を固定とした測定を行っているが、線幅値を固定とし、 L/S パターンの空間周波数を変化させた検査用パターンにて測定を行い、光学的変調度曲線とマッチングを行うことで、 L/S パターンの線幅を測定するようにしても構わない。

【0076】また、以上は、 L/S パターンの線幅を定義するのに、同一空間周波数におけるパターンデューティ、すなわち L/S パターンの線幅が光学的変調度を決定するパラメータであることに着目して、光学的変調度から L/S パターンの線幅値を測定するアルゴリズムを採用した例について説明したが、パターン検査装置7の光学倍率を上げる等して、 L/S パターンの画像から作成される光の強度プロファイルをもとに、 L （ライン）の実線幅を求めてこれを L/S パターンの線幅と定義するようにしても構わない。

【0077】本発明を適用した半導体製造ライン1において、パターン検査装置7による測定の対象となる L/S パターンの空間周波数は、該当するリソグラフィ工程におけるデザインルールによって適切に決定することが望ましい。本発明を適用した半導体製造ライン1においては、リソグラフィ工程毎に測定対象とするターゲット線幅を定めて、このターゲット線幅の L/S パターンの線幅、孤立パターンの線幅を測定するようにしている。ターゲット線幅は、半導体回路パターンのデザインルール、ゲート線幅、クリティカル工程かノンクリティカル工程かによって定めると都合がよい。 L/S パターンにおけるターゲット線幅は、光学的変調度が最大となるようにするため、レチクルマスク上でのパターンデューティを50%としている。これは、図7(b)に示した母関数とのフィッティング精度を上げるためである。

【0078】パターン検査装置7では、上述したような測定の結果得られた孤立パターンの線幅と L/S パターンの線幅値、及びこれらの測定に付随して得られるフォーカス位置情報から、線幅基準値からの変動（線幅誤差）を、孤立パターン、 L/S パターン毎にそれぞれ抽出し、事前に測定しておいた図4(a)及び図4(b)に示す露光フォーカス位置／線幅値曲線とマッチングすることで、当該孤立パターンや L/S パターンを形成する際の露光装置4の露光フォーカス位置の誤差、すなわちデフォーカス量を算出するようにしている。但し、これだけでは、デフォーカスの方向が判断できない。

【0079】ところで、半導体ウェハ100上に形成された孤立パターンは、露光時のデフォーカスに伴うレジスト形状の変化等によって、図9に示すように、ボトム線幅（パターン下端部の線幅）が一定であっても、パターン検査装置7により測定された線幅値が異なったものとなる。すなわち、ボトム線幅が一定であっても、露光

装置4の露光フォーカス位置がプラスフォーカス側にずれていると、パターン検査装置7により測定される孤立パターンの線幅値はジャストフォーカスのときに比べて大きくなり、逆に露光装置4の露光フォーカス位置がマイナスフォーカス側にずれていると、パターン検査装置7により測定される孤立パターンの線幅値はジャストフォーカスのときに比べて小さくなる。なお、図9に示すボトム線幅は、SEMにより測定した値である。

【0080】また、パターン検査装置7を用いて孤立パターンの線幅を測定する場合、線幅値を高精度に測定する上では、結像光学系のフォーカス状態をオフフォーカスの状態とし、画像撮像素子14にて撮像された孤立パターンの回折干渉像をもとに孤立パターンの線幅値を測定する手法（オフフォーカス干渉法）が非常に有効である。この場合、孤立パターンの回折干渉像のコントラスト最良点が得られるパターン検査装置7のフォーカス位置は、パターン検査装置7の光学系の収差等の影響により、図10に示すように、孤立パターンの線幅値によって異なったものとなり、このときの孤立パターンの線幅値としては、ボトム線幅が支配的に作用することになる。

【0081】一方、 L/S パターンの線幅測定においては、特徴点として用いている光学的変調度が最大となるのは、パターン検査装置7のフォーカス位置がジャストフォーカスのときである。すなわち、上述したオフフォーカス干渉法を用いた場合の孤立パターンの回折干渉像のコントラスト最良点が得られるパターン検査装置7のフォーカス位置と、 L/S パターンの線幅測定時において光学的変調度が最大となるパターン検査装置7のジャストフォーカス位置との差を求めれば、ボトム線幅を求めることができる。

【0082】以上のことから、パターン検査装置7の線幅測定により得られるパラメータは、パターン形状に依存する孤立パターンの線幅値、 L/S パターンの線幅値、ボトム線幅値、の3つのパラメータである。これら3つのパラメータを、事前に測定しておいた図4(a)及び図4(b)、図7(b)、図9、図10のパターンにマッチングすることで、露光装置4におけるデフォーカスの量と方向を認識することができ、デフォーカスの影響を除去した、すなわちジャストフォーカス露光されたと仮定した孤立パターンの線幅値及び L/S パターンの線幅値を算出することができる。

【0083】以上説明した測定原理に基づいて、パターン検査装置7により、 L/S パターンの線幅値、孤立パターンの線幅値、露光装置4におけるデフォーカス量、デフォーカス方向を求めるアルゴリズムを図11に示す。この図11に示す測定アルゴリズムは、測定に差し障りのない程度の光学収差をパターン検査装置7の光学系に与えることにより、収差が線幅毎の周波数応答特性を変化させるという点に着目して実現されたものであ

り、このような測定アルゴリズムによって露光装置4におけるデフォーカス量とデフォーカス方向とを求めることにより、孤立パターンの線幅誤差とL/Sパターンの線幅誤差とから得られる露光装置4の露光条件誤差情報から、露光フォーカス位置の誤差成分を分離することが可能となる。

【0084】そして、露光装置4における露光フォーカス位置の誤差成分を分離した後は、図3に示した線幅-露光光量曲線にパターンマッチングを行うことで、露光装置4における露光光量誤差を求めることが可能となる。

【0085】パターン検査装置7においては、以上のような処理を画像処理用コンピュータ31と補正情報生成処理部33とにより行い、露光装置4における露光フォーカス位置の誤差や露光光量の誤差を求めて、露光装置4の露光フォーカス位置を補正するためのフォーカス補正情報と、露光光量を補正するための光量補正情報とを生成するようにしている。そして、これらフォーカス補正情報と光量補正情報とを露光装置4にフィードバックして、露光装置4の露光条件を適切に制御するようにしている。これにより、露光装置4による露光状態を決定する上で最も大きな変動要因となる露光光量と露光フォーカス位置とが、パターン検査装置7からの補正情報に応じてリアルタイムに補正されることになり、不良品ウェハの発生率を大幅に削減することが可能となる。

【0086】また、パターン検査装置7においては、測定精度をより向上させ、更に露光装置4における収差状態を補正するために、上述した孤立パターンの線幅とL/Sパターンの線幅との少なくとも一方を測定する際に、サジタル面像及びメリジオナル面像の双方にて測定を行うようにしている。このとき、サジタル面像とメリジオナル面像で測定結果が異なる場合は、露光装置4の備える投影レンズに収差異常が生じているので、パターン検査装置7は、露光装置4の備える投影レンズの収差状態を補正するための収差補正情報を生成し、この収差補正情報を露光装置4にフィードバックするようにしている。

【0087】さらに、パターン検査装置7においては、露光装置4の像面湾曲及び像面傾斜を補正するために、上述した孤立パターンの線幅とL/Sパターンの線幅との少なくとも一方を測定する際に、半導体ウェハ100上の所定の露光フィールド内における複数の位置にて測定を行うようにしている。すなわち、半導体ウェハ100上の所定の露光フィールド内の複数の位置にそれぞれ上述したような検査用パターンを設けておき、パターン検査装置7によりこれら複数の検査用パターンを測定することによって、所定の露光フィールド内における最適像面位置、すなわち、露光装置4の像面湾曲及び像面傾斜、更には、露光フィールド内における露光光量むらを把握することができる。パターン検査装置7は、このよ

うにして得られた最適像面位置に関する情報をもとにして、露光装置4の像面湾曲及び像面傾斜を補正するための像面補正情報や露光光量むら補正情報を生成し、これら像面補正情報や露光光量むら補正情報を露光装置4にフィードバックするようにしている。

【0088】なお、上述したパターン検査装置7においては、L/SパターンのL（ライン）の本数を3本又は5本に設定し、平均処理により光学的変調度を決定しているが、L/SパターンのL（ライン）の本数は、上述した例に限らず、所望される測定精度と測定タクトタイムとから適宜決定すればよい。L/SパターンのL（ライン）の本数を多くすることで測定精度を向上させることが可能となるので、L/SパターンのL（ライン）の本数は、測定タクトタイムの許容範囲内においてできるだけ多く設定されることが望ましい。

【0089】また、露光装置4の光学系にコマ収差がある場合、L/Sパターンの線幅が左端と右端とで異なるということがよく知られている。この事象は、上述したパターン検査装置7においても同様に、光学的変調度の差として観察することができる。したがって、パターン検査装置7においては、L/Sパターンの線幅の左端、右端のデータをデータ処理することによって、露光装置4の光学系におけるコマ収差の状態を把握し、異常がある場合には、その収差異常を補正するための補正情報を露光装置4へフィードバックすることが可能である。

【0090】また、露光装置4の光学系に球面収差がある場合、露光線幅毎に焦点位置が異なるという現象がよく知られている。したがって、半導体ウェハ100上に図7(a)に示したような検査用パターンを形成しておき、パターン検査装置7により、この検査用パターンの異なる線幅を同時に計測して、上述した露光装置4のデフォーカス量を測定するアルゴリズムによりデータ処理することにより、露光装置4の球面収差を把握して、異常がある場合には、その収差異常を補正するための補正情報を露光装置4へフィードバックすることが可能である。

【0091】また、パターン検査装置7では、上述したように、孤立パターンの線幅やL/Sパターンの線幅の測定に加え、孤立パターンとその下地として形成されているアイソレーションパターンとの重ね合わせ精度の検査や、この重ね合わせ精度の検査を応用したディストーション検査、倍率検査等も行われる。この場合、図12に示すように、孤立パターンとアイソレーションパターンとが重ね合わされた画像をもとにして、孤立パターンとアイソレーションパターンの左右両端との間隔E、Fが測定され、この測定が直交する2方向にて行われる。これにより、孤立パターンとアイソレーションパターンとの重ね合わせ精度が検査される。そして、このような検査が、露光装置4における露光フィールド内の複数点にて行われることで、露光フィールド内における前露光

プロセスとの相対ディストーション、相対倍率の検査が可能となる。パターン検査装置 7 は、以上のようにして、重ね合わせ精度の検査やディストーション検査、倍率検査等を行い、これらに異常が認められた場合には、その異常を補正するための補正情報を露光装置 4 へフィードバックするようにしている。

【0092】本発明を適用した半導体製造プロセス 1 においては、上述したように、露光装置 4 による露光処理の後に、パターン検査装置 7 による検査が行われるまでに、現像装置 5 による現像処理や、加熱処理装置 6 によるポストベーク処理が行われるようになっている。したがって、パターン検査装置 7 から露光装置 4 へのフィードバックループにおいて、ある程度の時定数が存在し、位相遅れが生じることになる。このため、パターン検査装置 7 から露光装置 4 へのフィードバックは、その変動トレンドを把握することを第 1 の目標とし、フィードバックパラメータを検査した半導体ウェハ 100 毎に更新するようにしている。

【0093】パターン検査装置 7 においては、測定精度を向上させるために、雑音成分を半導体ウェハ 100 内の測定点数 N で平均化することで、 $(1/N)^{1/2}$ に削減するようにしている。したがって、パターン検査装置 7 から露光装置 4 へのフィードバックパラメータを検査した半導体ウェハ 100 毎に更新することは、測定精度との兼ね合いからも非常に有効であり、本発明を適用した半導体製造プロセス 1 における露光装置 4 の制御システムとして最適である。

【0094】

【発明の効果】本発明に係るパターン検査装置によれば、半導体製造プロセス中のリソグラフィ工程において用いられる露光装置の露光光量の誤差と、露光フォーカス位置の誤差とを適切に検査し、露光装置の露光光量を補正するための光量補正情報や露光フォーカス位置を補正するためのフォーカス補正情報を適切に生成して、露光装置にフィードバックすることができる。

【0095】また、本発明に係る露光装置制御システムによれば、パターン検査装置により生成された光量補正情報及びフォーカス補正情報に応じて、半導体製造プロセス中のリソグラフィ工程において用いられる露光装置の露光光量や露光フォーカス位置が適切且つリアルタイムに補正されるので、リソグラフィ工程における不良品ウェハの発生率を大幅に削減し、歩留まりを向上させることが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明に係る露光装置制御システムを適用して構成される半導体製造ラインの一構成例を示す図であ

る。

【図 2】本発明を適用したパターン検査装置を示す模式図である。

【図 3】上記パターン検査装置により測定された孤立パターン及び L/S パターンの線幅値と露光装置における露光光量との関係を示す図である。

【図 4】上記パターン検査装置により測定された孤立パターン及び L/S パターンの線幅値と上記露光装置における露光フォーカス位置との関係を示す図であり、

(a) は孤立パターンの線幅値と露光フォーカス位置との関係を示し、(b) は L/S パターンと露光フォーカス位置との関係を示している。

【図 5】上記パターン検査装置において孤立パターンの画像から孤立パターンの線幅を測定する方法を説明するための図である。

【図 6】上記パターン検査装置において L/S パターンの画像から L/S パターンの線幅値を測定する方法を説明するための図である。

【図 7】上記パターン検査装置において L/S パターンの画像から L/S パターンの線幅値を測定する方法を説明するための図であり、(a) は半導体ウェハ上に形成される検査用パターンの一例を示す平面図であり、

(b) は L/S パターンの画像から得られる光学的変調度とパターンデューティとの関係を示す図である。

【図 8】上記パターン検査装置において変形照明を行うための空間フィルタ絞りの一例を示す図である。

【図 9】上記パターン検査装置において測定された孤立パターンの線幅と、SEM により測定されたボトム線幅との関係を、上記露光装置の露光フォーカス位置との関係と合わせて図である。

【図 10】孤立パターンの回折干渉像のコントラスト最良点が得られる上記パターン検査装置のフォーカス位置と、孤立パターンの線幅値との関係を示す図である。

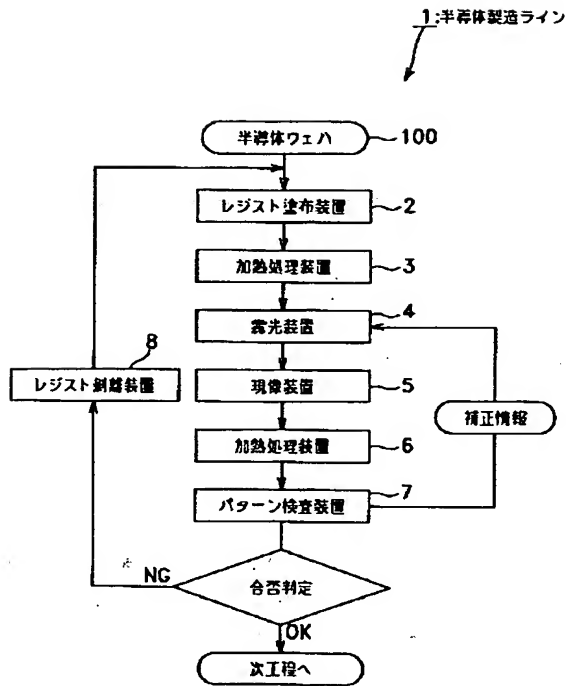
【図 11】上記パターン検査装置により L/S パターンの線幅値、孤立パターンの線幅値、上記露光装置におけるデフォーカス量、デフォーカス方向を求めるアルゴリズムを説明するための図である。

【図 12】上記パターン検査装置において孤立パターンとアイソレーションパターンとが重ね合わされた画像からこれらの重ね合わせ精度を検査する方法を説明するための図である。

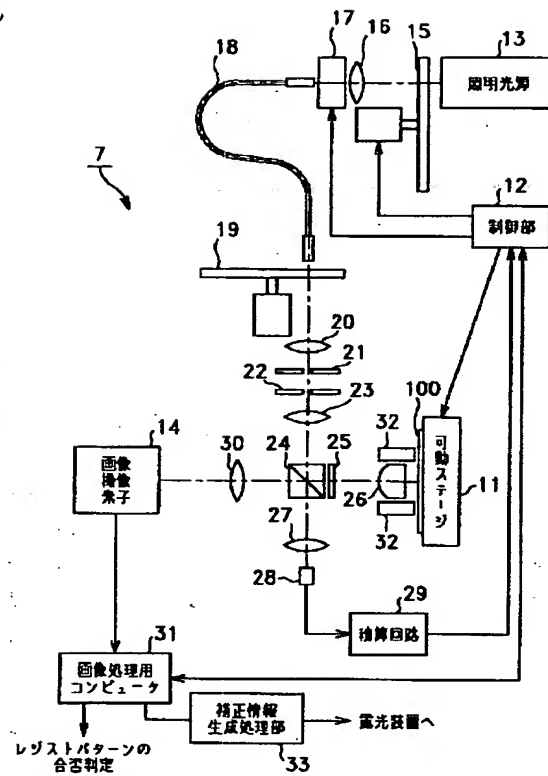
【符号の説明】

1 半導体製造ライン、 4 露光装置、 7 パターン検査装置、 11 可動ステージ、 12 制御部、 13 照明光源、 14 画像撮像素子、 31 画像処理用コンピュータ、 33 補正情報生成処理部

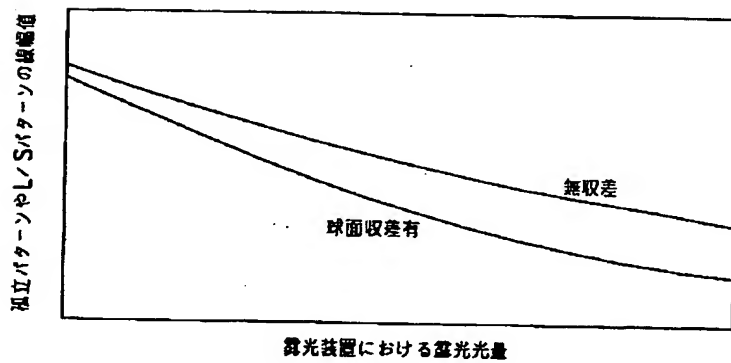
【図1】



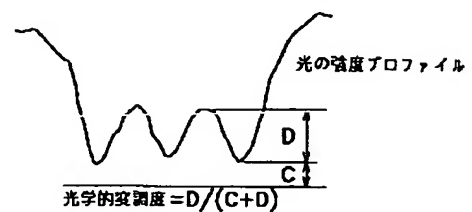
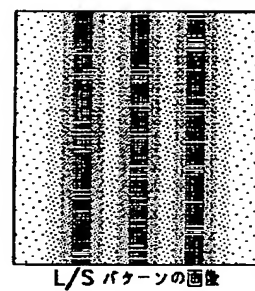
【図2】



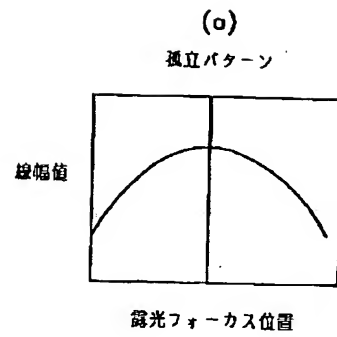
【図3】



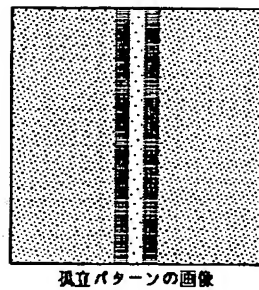
【図6】



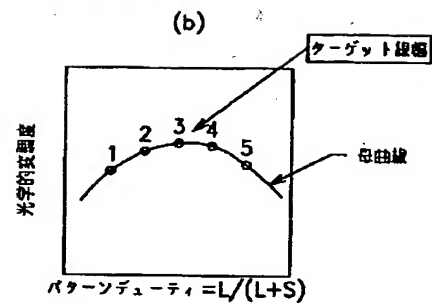
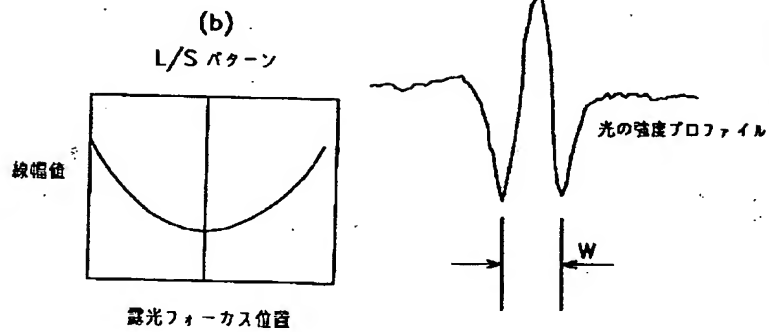
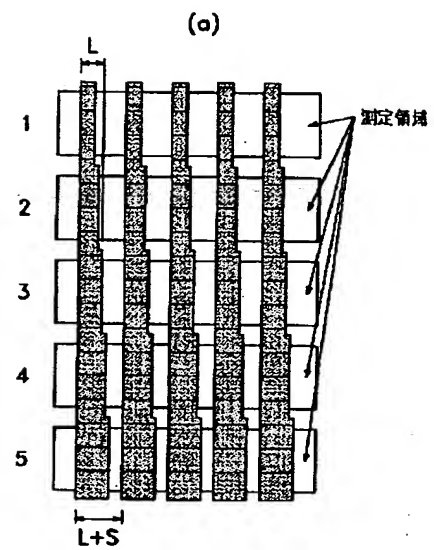
【図4】



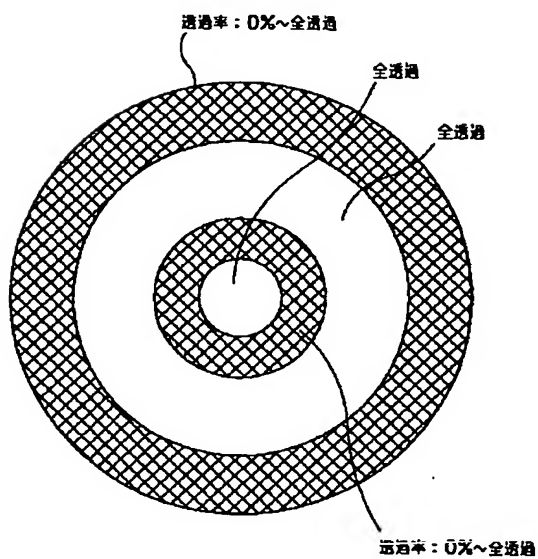
【図5】



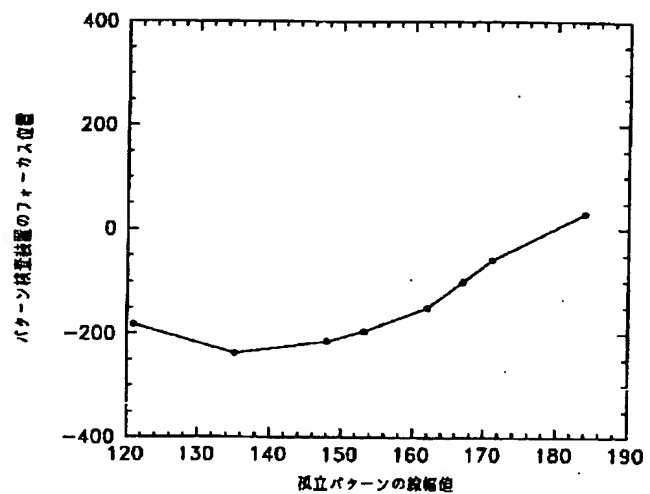
【図7】



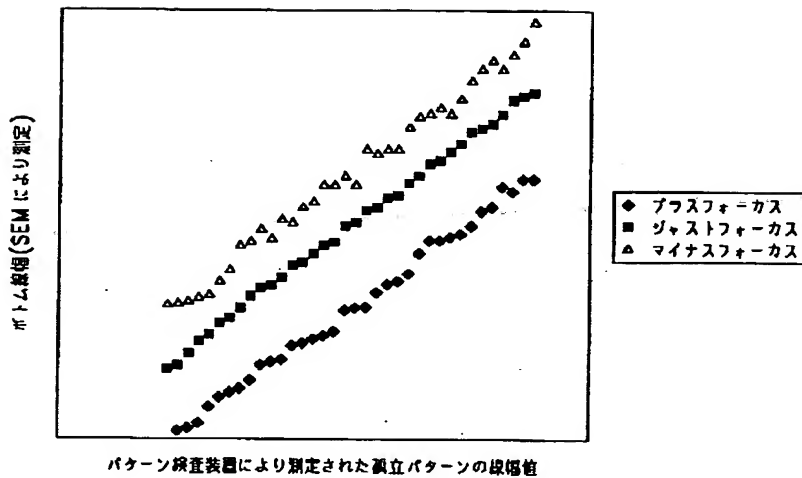
【図8】



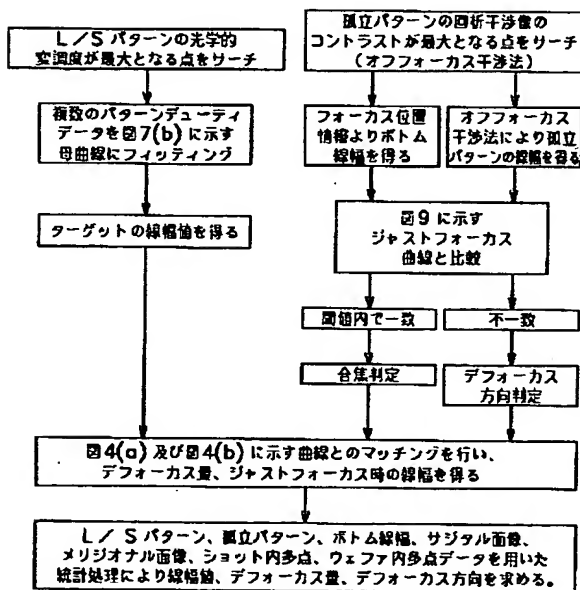
【図10】



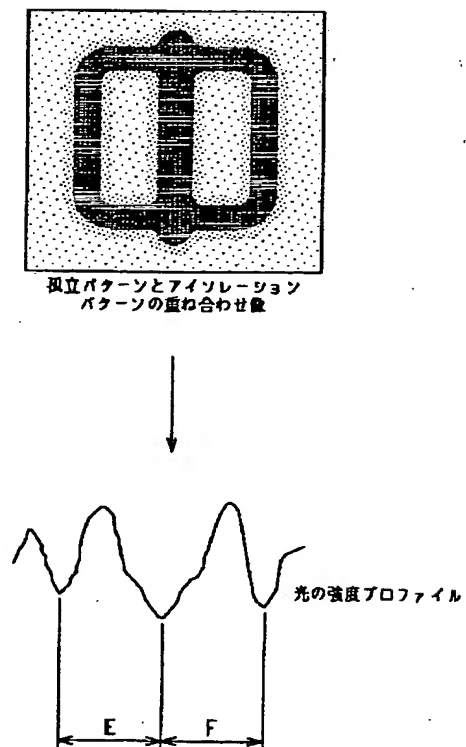
【図9】



【図11】



【図12】



フロントページの続き

(51) Int. Cl. 7

H 0 1 L 21/66

識別記号

F I

H 0 1 L 21/30

テマコード(参考)

5 0 2 V

5 1 6 A

(72) 発明者 今井 裕

東京都品川区北品川 6 丁目 7 番 35 号 ソニ
株式会社内

F ターム (参考) 2F065 AA22 AA56 BB03 CC19 DD10
EE00 FF41 FF48 GG04 JJ26
LL02 LL24 LL30 LL36 LL37
LL42 LL57 NN02 PP23 QQ38
QQ42

4M106 AA01 CA39 DJ38

5F046 AA18 DA02 DA14 DB05